

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЕ

д.м.н., проф. В. Т. Бачинский

Высшее государственное учебное заведение Украины «Буковинский государственный медицинский университет», кафедра судебной медицины и медицинского правоведения

**Аннотация:** Целью работы был анализ существующих методов исследования повреждений биотканей человека, поиск и разработка современных методов диагностики прижизненных и посмертных изменений биологических тканей и сред человека для решения вопросов судебно-медицинской науки и практики, в частности, установления давности наступления смерти при различных ее причинах, времени формирования гематом, прижизненности образования телесных повреждений и диагностики острой ишемии миокарда.

**Ключевые слова:** лазер, анизотропия оптических свойств веществ, поляриметрия оптических свойств веществ, острая ишемия миокарда, давность наступления смерти, формирование гематом, прижизненность

## PERSPECTIVES OF LASER-POLARIMETRIC METHODS OF BIOLOGICAL TISSUE INVESTIGATION IN FORENSIC MEDICINE

V. T. Bachinskiy

**Abstract:** The aim of our work was to analyze existing research methods of investigating damage to human tissues and to search for and develop modern methods of diagnosis of lifetime and postmortem changes of biological tissues and bodily fluids for solving forensic science and practice problems. In particular, we investigated the establishment of the time of death for various causes, the time of formation of hematomas, lifetime of injury formation and diagnosis of acute myocardial ischemia.

**Keywords:** laser polarimetry, acute myocardial ischemia, time of death, formation of hematomas, lifetime

<http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2016-2-3-4-8>

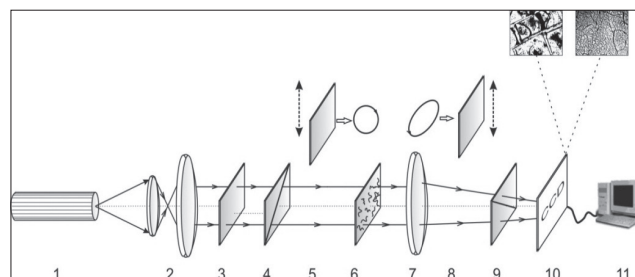
### ◇ ВВЕДЕНИЕ

На данный момент общемировой тенденцией является междисциплинарная интеграция для разработки принципиально новых критериев, которые станут базисом для решения сложных медико-биологических задач. Коллективом нашей кафедры было принято решение об объединении интеллектуальной работы с коллективом кафедры оптики и спектроскопии инженерно-технического факультета Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича (г. Черновцы, Украина), во главе с профессором А. Г. Ушенко, для проведения новейших междисциплинарных научных исследований в области судебно-медицинской экспертизы и оптической физики. Результатом этого плодотворного сотрудничества стали открытия, которые вылились в следующие диссертационные исследования: «Лазерная спектрофотополяриметрия биологических тканей человека в разработке объективных критериев определения давности наступления смерти и времени образования гематом»; «Установление прижизненности и давности нанесения телесных повреждений по данным лазерной поляриметрии биологических тканей»; «Диагностика давности наступления смерти методом лазерного поляриметрического мониторинга тканей человека»; «Определение давности наступления смерти при некоторых видах механической асфиксии и массивной кровопотере методом лазерной поляриметрии».

Целью нашего исследования был поиск новых методов исследования биологических тканей (БТ) и сред человека для выявления принципиально новых диагностических критериев определения патологических изменений в тканях трупа.

### ◇ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Весь комплекс БТ можно представить совокупностью фибриллярных белковых структур, формирующих его уникальную структурно-функциональную организацию [1]. Важной особенностью данных фибриллярных протеинов является их четкая упорядоченность, что придает им свойства жидких кристаллов. Известно, что жидкие кристаллы являются веществами, которые одновременно проявляют текучесть жидкостей и свойства кристаллов, молекулы которых определенным образом упорядочены, то есть существует определенная симметрия. Как следствие, существует анизотропия механических, электрических, магнитных и оптических свойств веществ этого класса. Именно анизотропию оптических свойств можно



**Рис. 1. Оптическая схема поляриметра:** 1 – He-Ne лазер; 2 – коллиматор; 3 – стационарная четвертьволновая пластинка; 4 – поляризатор; 5, 8 – механически подвижные четвертьволновые пластинки; 6 – объект исследования; 7 – микрообъектив; 9 – анализатор; 10 – CCD-камера; 11 – персональный компьютер.

обнаружить методами лазерной поляриметрии [2]. Это побудило нас к дальнейшему проведению новейших научных исследований в области морфологии и физики.

Механизмы взаимодействия лазерного излучения со слоем структурированной БТ или средами организма (СО) описывается с помощью матрицы Мюллера для оптически одноосных кристаллов [2].

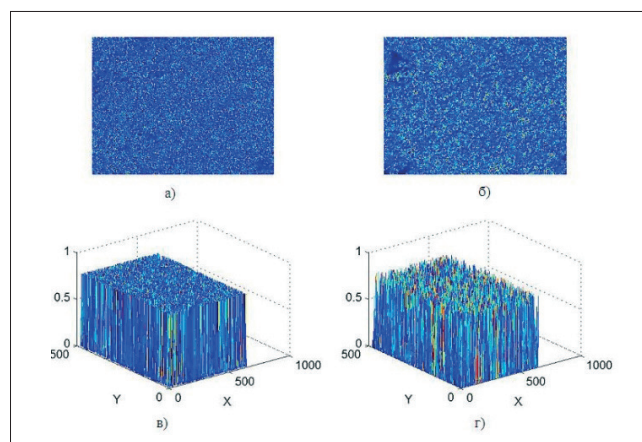
При выполнении работы исследования БТ и СО умерших проводили в помещении морга областного бюро судебно-медицинской экспертизы при температуре воздуха 18–21 °С и влажности 60–80 %. С изъятых кусочков с помощью замораживающего микротомы получали нативные срезы толщиной 20–100 мкм (в зависимости от типа ткани). Облучение объектов исследования проводились в лазерных установках (с разной длиной волны) (рис. 1).

Полученные результаты обрабатывались по стандартным алгоритмам программного продукта MATLAB и Statistica.

Для исследования проводили забор:

- БТ: кожа с передней стенки живота, поперечно-полосатые мышцы живота (прямые), сердечная мышца, ткань головного мозга, легких, печени, почек, селезенки и тонкой кишки – для изучения давности наступления смерти (ДНС) при различных ее видах [4];
- гематом органов: головного мозга, печени, почки, селезенки, скелетных мышц – для определения времени формирования гематом [5];
- сердечная мышца (с шести участков) – для определения острой ишемии [6];
- образцы кожи с участков ссадин – для определения прижизненности образования телесных повреждений.

Для реализации поставленной цели изучили и освоили ряд физических методов: лазерная статистическая поляриметрия посмертных изображений нативных срезов тканей трупа человека; поляризационное картографирование посмертных изображений нативных срезов; элементы матрицы Мюллера, Стокс поляриметрия изображений нативных срезов тканей трупа человека; методы поляризационной матрицы; ряд методов спектральной фазометрии лазерных изображений, статистического анализа координатных распределений степени деполяризации и фазовых сдвигов, статистический, корреляционный



**Рис. 2. Лазерные поляриметрические изображения гематом печени: а – двумерные поляризационные распределения эллиптичности лазерных изображений через 1 ч; б – трехмерные поляризационные распределения эллиптичности лазерных изображений через 1 ч; в – двумерные поляризационные распределения эллиптичности лазерных изображений через 24 ч; г – трехмерные поляризационные распределения эллиптичности лазерных изображений через 24 ч.**

и фрактальных подходы в анализе лазерных изображений БТ и СО [1–3].

## ♦ ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 1. Определение времени формирования гематом в БТ.

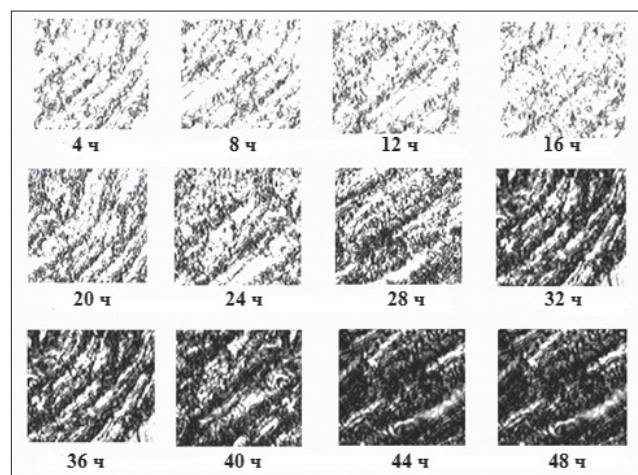
Проведено исследование поляризационных и фазовых параметров гематом внутренних органов человека с использованием статистического и корреляционного подходов, в частности, печени. На рис. 2 представлены поляризационные изображения срезов гематом печени через 1 и через 24 часа от времени их образования. В нижней части приведены координатные распределения эллиптичности поляризации изображений.

Приведенные данные демонстрируют объективные изменения лазерных поляриметрических изображений гематом на разных промежутках после смерти, что может быть использовано для установления ДНС.

### 2. Временная динамика лазерных поляриметрических характеристик БТ.

С целью получения систематической информации об изменении поляризационной структуры проводились исследования распределений значений совокупности азимутов и эллиптичности поляризации изображений БТ и СО человека с последующей статистической обработкой.

Результаты исследования покажем на примере мышечной ткани (МТ) трупа человека. На серии микрофотографий



**Рис. 3. Поляризационные изображения мышечной ткани, полученные для различных временных промежутков после наступления смерти.**

(рис. 3) приведены поляризационные изображения мышечной ткани, полученные для различных временных промежутков после наступления смерти.

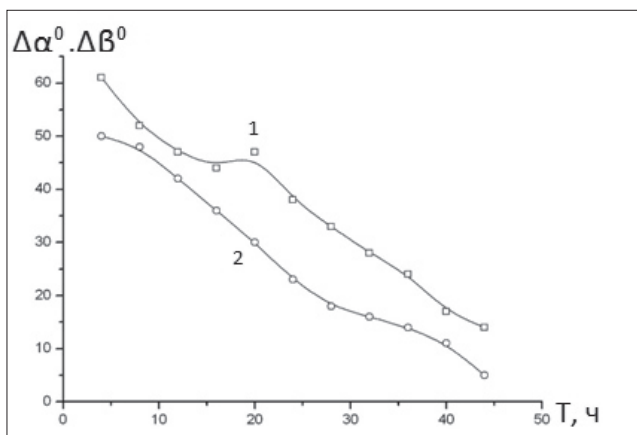
Количественно такие изменения характеризуют гистограммы распределения значений азимутов и эллиптичности поляризации измеренных в лазерных изображениях МТ.

Рис. 3. Поляризационные изображения мышечной ткани для различных временных промежутков ДНС.

Из полученных результатов видно, что временная динамика трупных изменений структуры МТ приводит к существенному уменьшению оптической анизотропии. Вероятности случайных значений азимутов и эллиптичности поляризации с увеличением времени наблюдения после наступления смерти имеют отчетливую тенденцию к перераспределению к минимальным величинам.

На рис. 4 показаны временные зависимости изменения поляризационных параметров  $\Delta\alpha^0$  (кривая 1),  $\Delta\beta^0$  (кривая 2) изображений МТ.





**Рис. 4. Временные зависимости изменения поляризационных параметров изображений МТ: 1 – временная зависимость параметра  $\Delta\alpha^0$ ; 2 – временная зависимость параметра  $\Delta\beta^0$ .**

Сужение интервалов случайного изменения параметров  $\Delta\alpha^0$ ,  $\Delta\beta^0$  по мере увеличения времени после наступления смерти можно связать с уменьшением уровня оптической анизотропии архитектоники МТ и использовать как диагностический параметр ДНС.

В результате мы установили, что временной диапазон определения ДНС обусловлен особенностями посмертных изменений лазерных изображений МТ, от 1–140 ч и точность определения – 1,5 ч.

### 3. Установление прижизненности образования повреждений кожи человека.

Актуальной задачей судебной медицины является не только установление факта наличия повреждения,

но и отношение его образования до момента наступления смерти, то есть установление факта прижизненного или посмертного его характера.

Для решения данного вопроса мы решили разработать объективные критерии для дифференциации прижизненного или посмертного причинения повреждений по данным лазерной фотометрии, поляриметрии и фазометрии кожи человека на основе статистического и пространственно-частотного анализа лазерных изображений срезов дермального слоя.

На рис. 5 приведена трехмерная реконструкция распределений интенсивности лазерных изображений срезов кожи человека всех типов.

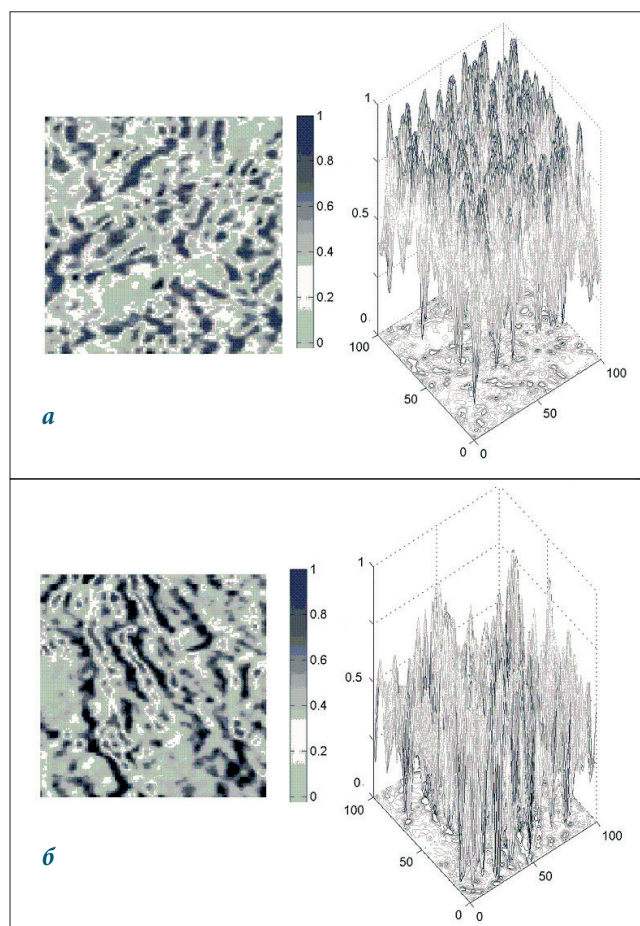
Сравнительный анализ показал, что величина экстремумов локальных значений интенсивности в области ссадины значительно меньше, чем значение  $I(X)$  в изображении неповрежденных участков. Такую особенность можно объяснить наличием кровоизлияний в зоне ссадины, что оптически проявляется в поглощении излучения. Таким образом, интенсивность изображения в таких местах меньше, чем на участках без внутренних кровоизлияний.

В дальнейшем нами проведен статистический анализ координатных распределений  $I(x, y)$  лазерных изображений срезов кожи всех типов. В результате мы получили взаимосвязь между прижизненностью или посмертностью образования ссадин и статистическими (среднее и дисперсия), а также пространственно-частотными (дисперсия экстремумов Log-Log зависимостей спектров мощности) параметрами, характеризующими координатные распределения интенсивности, азимуты, эллиптичности, фазовых сдвигов между ортогональными компонентами лазерной волны в изображениях кожи человека.

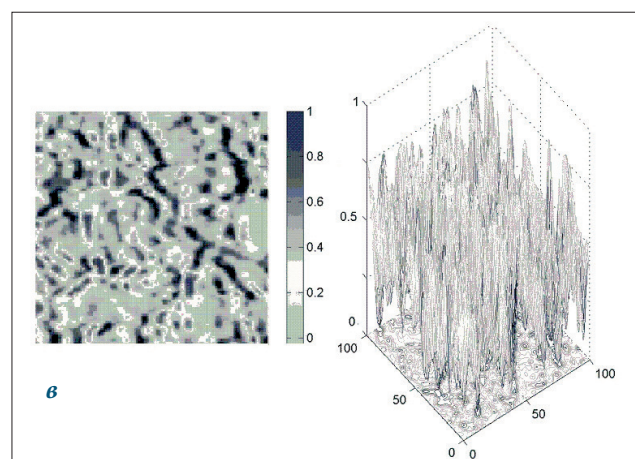
### 4. Исследование лазерных поляризационных свойств БТ и СО при наличии механической асфиксии и острой кровопотере.

Следующим этапом нашего исследования было изучение изменений БТ и СО в условиях механической асфиксии (МА) и острой кровопотери (ОК) на примере поляризационных изображений ткани миокарда (ТМ).

Анализируя полученные поляризационные изображения ТМ, выявили следующие явления: поляризационно визуализированные изображения ТМ в перекрещенных поляризаторе и анализаторе указывают на наличие оптически анизотропной составляющей, что проявляется наличием участков «просветления» за счет формирования



**Рис. 5. Трехмерная реконструкция распределения интенсивности лазерного изображения срезов кожи человека: а – неповрежденная кожа; б – прижизненная ссадина; в – посмертная ссадина.**



эллиптически поляризованных или деполяризованных волн в участках кровоизлияний.

Обнаружено, что экспериментально измеренное координатное распределение степени деполяризации лазерного излучения ТМ при МА характеризуется участками со значительно большим уровнем поляризации, чем аналогичное распределение, определенное для ТМ при ОКН, что связано с разным кровенаполнением.

Объективная статистическая характеристика координатных распределений степени деполяризации лазерного излучения отражена в таблице 1.

Таблица 1.

Статистические моменты распределения степени деполяризации лазерного излучения ТМ при МА и ОКН.

Статистические моменты	Причина смерти	
	асфиксия	кровопотеря
среднее	0,310 ±0017	0,240 ±0009
дисперсия	0,180 ±0005	0,290 ±0011
асимметрия	7,140 ±0041	13,340 ±0033
эксцесс	17,320 ±0037	9,250 ±0049

$p \leq 0,005$

#### 5. Определение участков ишемии.

Также мы установили диагностические возможности лазерной поляриметрии для судебно-медицинской диагностики острой коронарной недостаточности (ОКН). Проиллюстрируем результаты исследований на примере применения метода статистического матричного анализа.

Нами были определены экспериментальные значения координатной  $Z_{44}(m \times n)$  и статистической  $h(Z_{44})$  структуры фазовых элементов  $Z_{44}$  матрицы Мюллера нативных срезов миокарда человека в условиях ОКН по сравнению с контрольной группой.

В дальнейшем нами исследовалась статистическая структура зависимости  $N(Z_{44}=0) \equiv N_0$ , которая обладает наибольшей диагностической ценностью (рис. 6).

В результате исследования распределения экстремальных значений зависимости  $N(Z_{44}=0) \equiv N_0$  обнаружена ее существенная диагностическая чувствительность к дифференциации случаев наступления смерти в результате ОКН.

Так для ОКН имеет место рост (на один порядок величины) количества экстремальных значений  $Z_{44}=0$  фазового элемента матрицы Мюллера ТМ (рис. 6 в, г). Данный факт свидетельствует о существенно более высоком уровне оптической анизотропии миоизоновых фибрилл при ОКН по сравнению с нормой.

Количественно процессы изменения двулучепреломления миоизоновых фибрилл миокарда на разных экстремальных уровнях характеризует совокупность

статистических моментов  $M_{j=1,2,3,4}(N_0)$ , которые описывают зависимость  $N_0$  (табл. 2).

Наиболее информативными оказались статистические моменты 3 и 4-го порядков распределения  $N_0(x)$  экстремальных значений фазового элемента  $Z_{44}$  матрицы Мюллера ТМ. С использованием характеристического значения  $Z_{44}=0$  установлены следующие диапазоны различий между статистическими параметрами, которые характеризуют оптически анизотропную составляющую миокарда в условиях ОКН по сравнению с нормой: среднее  $M_1(N_0)$  увеличилось в 5 раз; дисперсия  $M_2(N_0)$  уменьшилась в 2,3 раза; асимметрия  $M_3(N_0)$  уменьшилась в 9 раз; эксцесс  $M_4(N_0)$  уменьшился в 11 раз.

Таблица 2.

Статистические моменты 1–4-го порядков распределения  $N_0(x)$  экстремальных значений фазового элемента  $Z_{44}$  матрицы Мюллера ТМ в условиях ОКН и в норме.

$M_i(N_0)$	Норма	ОКН
$M_1(N_0)$	0,11 ±0,0011	0,74 ±0,0023
$M_2(N_0)$	0,46 ±0,0021	0,21 ±0,0016
$M_3(N_0)$	3,54 ±0,0036	0,43 ±0,0022
$M_4(N_0)$	6,21 ±0,0048	0,57 ±0,0047

$p \leq 0,005$

Из полученных данных экспериментальных исследований статистической структуры распределения количества экстремальных значений фазового элемента матрицы Мюллера ткани миокарда обоих типов следует объективная возможность дифференциации причины наступления смерти и диагностики ОКН с помощью метода статистического матричного анализа.

#### ♦ ВЫВОДЫ

Во время проведения многочисленных исследований был установлен ряд особенностей и закономерностей изменения свойств лазерного пучка в результате прохождения через БТ и созданы схемы изучения различных видов тканей.

1. Лазерная поляриметрия гематом внутренних органов эффективна для судебно-медицинского определения времени их возникновения. Гематомы различной локализации имеют координатно неоднородную и индивидуальную структуру вследствие их многослойного строения. Для диагностики давности их возникновения эффективным является использование показателей координатных распределений состояний поляризации, степени деполяризации и фазовых сдвигов лазерных изображений.

2. Обнаружено, что временная динамика изменения морфологической структуры биологических тканей в помертвенном периоде сопровождается динамическими закономерностями изменения структуры их поляриза-

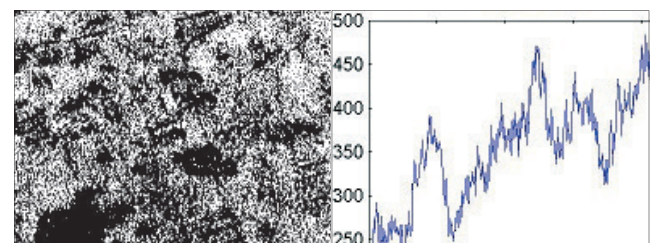
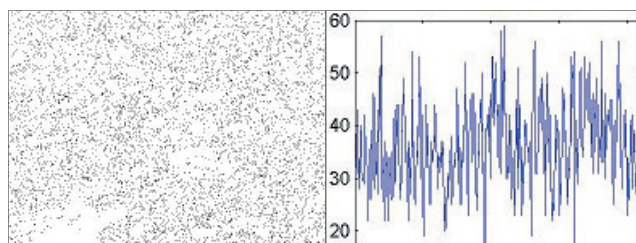


Рис. 6. Структура зависимости  $N(Z_{44}=0) \equiv N_0$  фазового элемента  $Z_{44}$  оптико-изотропной составляющей ТМ: а – координатная структура в норме; б – координатная структура в условиях ОКН; в – количественная структура в норме; г – количественная структура в условиях ОКН.

ционных изображений, что является основой для установления давности наступления смерти.

3. Комплексное применение совокупности поляризационного, матричного, статистического и корреляционного методов анализа изображений срезов биологических тканей позволяет – в зависимости от их вида – определять давность наступления смерти в срок от 1 до 140 ч, при погрешности 1–1,5 ч.

4. Установленная эффективность в определении временных интервалов давности наступления смерти при механической асфиксии для статистических моментов 1–4-го порядков распределения фаз от 1 до 36 ч; для статистических моментов 1–4-го порядков распределения степени деполяризации от 1 до 74 ч; в случае смерти в результате кровооттери для статистических моментов 1–4-го порядков распределения фаз от 1 до 48 ч; для статистических моментов 1–4-го порядков распределения степени деполяризации от 1 до 92 ч, при погрешности 1 ч.

5. Определены и теоретически обоснованы взаимосвязи между прижизненностью или посмертностью образования ссадин и статистическими, пространственно-частотными параметрами, характеризующими координатные распределения интенсивности, азимутов, эллиптичности, фазовых сдвигов между ортогональными компонентами лазерной волны в изображениях кожи человека. Обнаруженные статистические критерии дифференциации прижизненного или посмертного происхождения повреждений кожи тела человека (*статистически достоверная разница для изменения среднего (M1) от 1 до 130 ч*).

6. Исследование статистической структуры распределений количества экстремальных значений фазового элемента матрицы Мюллера ткани миокарда позволяет не только диагностировать острую коронарную недостаточность, но дифференцировать с другими патологическими состояниями, когда обычные методы гистологического исследования являются неэффективными. Наиболее информативным для диагностики острой ишемии миокарда является использование статистических моментов 2–4-го порядков распределения  $N_0(x)$  экстремальных значений фазового элемента  $Z_{44}$  матрицы Мюллера ткани миокарда.

Исходя из полученных результатов, определены следующие перспективные направления исследований:

1) целесообразно продолжить лазерное поляризметрическое изучение биотканей человека при изменении

тех или иных условий внешней среды или влияния внутренних факторов, для выявления не только новых специфических показателей и критериев, но и установления наиболее информативных «органов-мишеней» для решения вопросов медико-биологического характера и судебно-медицинской практики;

2) учитывая значительную оптическую активность, целесообразным будет углубление изучения жидкостей и сред трупа человека для выявления оптических критериев, характерных для патологических процессов и других состояний, в зависимости от причины смерти;

Результаты всех проведенных исследований необходимо объединить в единый банк данных для создания фундаментального основания к проведению научных исследований и более качественному и доказательному сопровождению судебно-медицинских экспертиз.

#### ♦ ЛИТЕРАТУРА

1. Ushenko OH, Bachynskyy VT, Vanchulyak OYa, Bezhenar IL. Osnovy lazernoyi polyaryometriyi: Patomorfologichni zminy biolohichny khtkanyn. Chernivtsi: Chernivetskiy natsional'nyy universytet. 2010; 372.
2. Angelsky OV, Polyanskii PV, Mokhun II, Zenkova SYu, Bogatryyova HV, Felde & ChV, Bachinskiy VT, Boichuk TM, Ushenko AG. Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields. (Cocco L, ed.). InTech; 2012. p. 263–316.
3. Bachynskyy VT, Pavliukovych OV, Wanchuliak OYa, Savka IH. Temporal spectral change of the degree of depolarization of laser radiation scattered by the hepatic tissue to diagnose the prescription of death coming. Bukovynskyy medychnyy visnyk. 2010; 14(4): 119–121.
4. Bachynskyy VT, Pavliukovych OV, Mishalov VD, Vanchulyak OYa. Doslidzhennya statystychnoyi struktury depolyaryzatsiy ilazernoho vyprominyuvannya tkanynoyu pechinky dlya dyferentsiatsiyi nastannya smerti v rezultati mekhanichnoyi asfiksiyi abo krovo-vtraty. Ukrayinskyy medychnyy almanakh. 2010; 13(1): 101–103. (In Ukr)
5. Vanchulyak OYa. Mozhlivosti vikoristannya fraktal'nogo analizu fazovykh lazernykh zobrazhen' miokarda dlya diagnostiki gostroi koronarnoi nedostatnosti. Klinichna ta yeksperimental'na patologiya. 2011; 10(2): 9–12. (In Ukr)

Для корреспонденции:

**БАЧИНСКИЙ Виктор Теодосович** – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой судебной медицины и медицинского правоведения ВГУЗ «Буковинский государственный медицинский университет», начальник коммунального медицинского учреждения «Областное бюро судебно-медицинской экспертизы» департамента здравоохранения Черновицкой областной государственной администрации. ÷ 58000, Украина, г. Черновцы, ул. Кишиневская, д. 2 • [udmed@bsmu.edu.ua](mailto:udmed@bsmu.edu.ua)

■ Конфликт интересов отсутствует.